

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-294756

(43)Date of publication of application : 10.11.1995

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

(21)Application number : 06-091261

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 28.04.1994

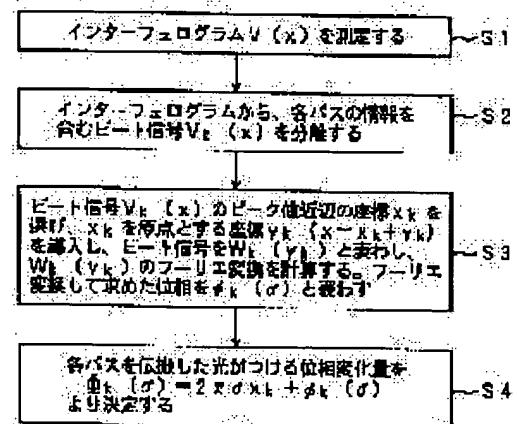
(72)Inventor : YAMADA HIROAKI
TAKADA KAZUMASA
INOUE YASUYUKI
HORIGUCHI MASAHIRO

(54) METHOD FOR ADJUSTING CHARACTERISTIC OF OPTICAL CIRCUIT AND DEVICE THEREFOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a method for adjusting the characteristics of an optical circuit capable of adjusting the characteristics of even the optical circuit having ≥ 3 pieces of paths with high accuracy within a short period of time and a device for such adjustment.

CONSTITUTION: The optical circuit is installed in the one optical path of an interferometer formed by using a light source having a coherence length (coherence distance shorter than the optical path difference between arbitrary two paths in the optical circuit to be subjected to the characteristic adjustment. The optical path length (x) of the other optical path which is a reference optical path is changed and an interferogram $V(x)$ of the light waves propagating the respective paths and reference light is measured (S1). N -pieces of isolated signals $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$) are extracted from this interferogram $V(x)$ (S2), and Fourier transform of the extracted beat signals $V_k(x)$ is calculated (S3). The phase change rates that the light propagating the respective paths receive are led out of the phase of the Fourier transform (S4). The refractive indices of the optical waveguides constituting the respective paths are so controlled that the specified differences between the phase change rates in the respective paths and their design values are obtd.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 17.12.2002

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The property adjustment method of an optical circuit that the interference wave of the light wave which the optical waveguide which connects between two or more ***** elements and this ***** element between input/output port has been arranged, and spread the path of the plurality between this input/output port (you may be N pieces) characterized by providing the following is taken out from an output port. The aforementioned optical circuit is installed in one optical path of the interferometer which used the light source which has coherent length (coherence length) shorter than the optical path difference during two arbitrary paths in the aforementioned optical circuit. Interferogram [of the light wave and the aforementioned reference beam which the optical path length x of the optical path of another side which is a reference-beam way was changed, and spread each path] V (x) It measures. this interferogram V (x) 1, 2, --, N is extracted. from -- N isolated beat signal $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$) The amount measurement process of phase changes which derives the amount of phase changes which the light which spread each path receives from the phase which calculated the Fourier transform of the extracted this beat signal $V_k(x)$, and was obtained from this calculation result. The refractive-index control process of changing the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of the aforementioned optical circuit so that the difference of the amount of phase changes and design value in each path for which it asked at the aforementioned amount measurement process of phase changes may become fixed.

[Claim 2] The property adjusting device of an optical circuit with which the interference wave of the light wave which the optical waveguide which connects between two or more ***** elements and this ***** element between input/output port has been arranged, and spread the path of the plurality between this input/output port (you may be N pieces) characterized by providing the following is taken out from an output port. An optical-path-length adjustable means to install the aforementioned optical circuit in one optical path of this interferometer, and to change the optical path length x of the optical path of another side which is the reference-beam way of the aforementioned interferometer while forming the interferometer which used the light source which has coherent length (coherence length) shorter than the optical path difference during two arbitrary paths in the aforementioned optical circuit. Interferogram [of the light wave and the aforementioned reference beam which spread each path] V (x) A measurement means to measure. aforementioned interferogram V (x) from -- N isolated beat signal $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$) The beat signal extraction means to extract N) The refractive-index control means to which the refractive index of the optical waveguide which constitutes in each path of the aforementioned optical circuit changes so that the difference of an amount measurement means of phase changes derive the amount of phase changes which the light which spread each path receives from a calculation means calculate the Fourier transform of the extracted this beat signal $V_k(x)$, and the phase obtained from this calculation result, and the amount of phase changes and the design value of each path for which it asked by the aforementioned amount measurement means of phase changes may serve as constant value.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] The optical waveguide which connects between two or more ***** elements and this ***** element between input/output port is arranged, and this invention relates to the way the interference wave of the light wave which spread the path of the plurality between this input/output port (you may be N pieces) adjusts the property of the optical circuit taken out from an output port, and its equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, the optical circuit by which the interference wave of the light wave which the optical waveguide which connects between two or more ***** elements and this ***** element between input/output port has been arranged, and spread the path of the plurality between this input/output port (you may be N pieces) is taken out from an output port is indispensable in order to realize highly efficient light parts.

[0003] The electric field E and intensity I of output light of an optical circuit which were mentioned above the amplitude of the light which spreads sigma and each path for the wave number -- $a_k(\sigma)$ ($k=1, 2 \text{ and } 3, \dots, N$) It is $\phi_k(\sigma)$ about the amount of phase changes which the light which spread each path receives. ($k=1, 2 \text{ and } 3, \dots, N$) When it carries out, it is the following (1). A formula and (2) Since it is expressed like a formula, various properties are realizable by changing an amplitude $a_k(\sigma)$ and amount of phase changes $\phi_k(\sigma)$.

[0004]

$$E(\sigma) = \sum_{k=1}^N a_k(\sigma) \cdot \exp(-i\phi_k(\sigma)) \quad \dots(1)$$

$I(\sigma) = |E(\sigma)|^2$ -- the amount of phase changes which light receives with each path in an optical circuit for a minute change of (2) however the refractive index produced at the time of production, a waveguide configuration, and waveguide internal stress -- design value $\phi_k(\sigma)$ from -- minute amount $\delta\phi_k(\sigma)$ if it shifts -- the electric field E of output light -- the following (3) Since it becomes like a formula, it has big influence on the property

[0005]

$$E(\sigma) = \sum_{k=1}^N a_k(\sigma) \cdot \exp\{-i(\phi_k(\sigma) + \delta\phi_k(\sigma))\} \quad \dots(3)$$

Then, conventionally, acting as the monitor of the optical-frequency property of an optical circuit, the refractive index of a waveguide was changed, the gap from the design value of the phase contrast during each path was corrected, and the property was adjusted.

[0006] Next, about the conventional property adjustment method, a Mach TSUENDA (Mach Zehnder: MZ) type optical circuit is mentioned as an example, and is explained. Drawing 2 is drawing showing the composition of MZ optical circuit of 2x2. In drawing, input port, and 54a and 54b of two 3dB directional coupler type ***** elements, two waveguides to which 51a and 51b connect 52a, and 52b connects these ***** elements 51a and 51b, and 53a and 53b are output ports. Considering the light which carries out incidence from one input port 53a and which carries out outgoing radiation from output port 54a, input light is separated spectrally into Waveguides 52a and 52b by ***** element 51a, and it is multiplexed by ***** element 51b.

[0007] Therefore, output light serves as an interference wave of the light which passed along two paths, the path 1 which passes input port 53a to waveguide 52a, and the path 2 which passes waveguide 52b. output light intensity -- the above (1) A formula and (2) a formula -- setting -- $a_1(\sigma) = a_2(\sigma) = 0.5$ ***** -- it asks -- having -- the following (4) It is expressed like a formula.

[0008]

$I(\sigma) = \cos 2 [-i \{(\phi_1 - \phi_2) + (\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)\}]$ -- (4) Drawing 3 is drawing having shown the optical-frequency property of MZ optical circuit of 2x2. The solid line in drawing shows a design property ($\Delta\phi_2 - \Delta\phi_1 = 0$), and the wavy line shows the property ($\Delta\phi_2 - \Delta\phi_1 \neq 0$) when an optical-path-length difference shifts from a design value. Thus, when an optical-path-length difference shifts from a design value, the property shifted from the design property is observed.

[0009] Then, conventionally, acting as the monitor of the optical-frequency property of an optical circuit, the refractive index of waveguide 52a which constitutes a path 1, or waveguide 52b which constitutes a path 2 was gradually changed so that the optical-frequency property might turn into a design property, and the property of an optical circuit was adjusted. Thus, in the case of MZ optical circuit of 2x2 which has two paths, since the gap ($\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2$) from the design value of the phase contrast between an optical-frequency property and a path corresponded, the property of an optical circuit was able to be adjusted based on the optical-frequency property.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the case of the optical circuit which has three or more paths, by the conventional property adjustment method mentioned above, the gap from the design value of the phase contrast during each path cannot be determined from the optical-frequency property of an optical circuit. Therefore, since the amount of phase changes in each path which should be adjusted was not found conventionally, it carried out by having repeated the process which changes some refractive indexes of the waveguide which constitutes each path, and measures an optical-frequency property, and there was no method besides adjusting a property gradually. Thus, there was a trouble that it could not adjust even if adjustment takes a long time very much or the conventional method of changing blindly the refractive index of the waveguide which constitutes each path takes a long time.

[0011] The purpose of this invention is to offer the property adjustment method of the optical circuit which can adjust the property of an optical circuit to the inside of a short time with high precision also about the optical circuit which has three or more paths, and its equipment in view of the above-mentioned trouble.

[0012]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, this invention in a claim 1 In the property adjustment method of an optical circuit that the interference wave of the light wave which the optical waveguide which connects between two or more ***** elements and this ***** element between input/output port has been arranged, and spread the path of the plurality between this input/output port (you may be N pieces) is taken out from an output port The aforementioned optical circuit is installed in one optical path of the interferometer which used the light source which has coherent length (coherence length) shorter than the optical path difference during two arbitrary paths in the aforementioned optical circuit. Interferogram [of the light wave and the aforementioned reference beam which the optical path length x of the optical path of another side which is a reference-beam way was changed, and spread each path] V (x) It measures. this interferogram V (x) 1, 2, --, N is extracted. from -- N isolated beat signal $V_k(x)$ (-- k= -- The amount measurement process of phase changes which derives the amount of phase changes which the light which spread each path receives from the phase which calculated the Fourier transform of the extracted this beat signal $V_k(x)$, and was obtained from this calculation result, The property adjustment method of the optical circuit which has the refractive-index control process of changing the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of the aforementioned optical circuit so that the difference of the amount of phase changes and design value in each path for which it asked at the aforementioned amount measurement process of phase changes may become fixed is proposed.

[0013] Moreover, the optical waveguide which connects between two or more ***** elements and this ***** element with a claim 2 between input/output port is arranged. In the property adjusting device of an optical circuit with which the interference wave of the light wave which spread the path of the plurality between this input/output port (you may be N pieces) is taken out from an output port While forming the interferometer which used the light source which has coherent length (coherence length) shorter than the optical path difference during two arbitrary paths in the aforementioned optical circuit An optical-path-length adjustable means to install the aforementioned optical circuit in one optical path of this interferometer, and to change the optical path length x of the optical path of another side which is the reference-beam way of the aforementioned interferometer, Interferogram [of the light wave and the aforementioned reference beam which spread each path] V (x) A measurement means to measure, aforementioned interferogram V (x) from -- N isolated beat signal $V_k(x)$ (-- k= -- with 1, 2, --, a beat signal extraction means to extract N) A calculation means to calculate the Fourier transform of the extracted this beat signal $V_k(x)$, So that the difference of an amount measurement means of phase changes to derive the amount of phase changes which the light which spread each path receives from the phase obtained from this calculation result, and the amount of phase changes and design value of each path for which it asked by the aforementioned amount measurement means of phase changes may serve as constant value The property adjusting device of the optical circuit equipped with the refractive-index control

means to which the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of the aforementioned optical circuit is changed is proposed.

[0014]

[Function] According to the property adjustment method of the optical circuit of this invention according to claim 1, it sets at the amount measurement process of phase changes. The aforementioned optical circuit is installed in one optical path of the interferometer which used the light source which has coherent length (coherence length) shorter than the optical path difference during two arbitrary paths in the optical circuit used as the candidate for property adjustment. Interferogram [of the light wave and the aforementioned reference beam which the optical path length x of the optical path of another side which is a reference-beam way changed, and spread each path] $V(x)$ It is measured. furthermore, this interferogram $V(x)$ from $-N$ isolated beat signal $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots$, the Fourier transform of the beat signal $V_k(x)$ which N) was extracted and was this extracted are calculated, the amount of phase changes which the light which spread each path receives is drawn from the phase obtained from the calculation result of this Fourier transform Moreover, in a refractive-index control process, the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of the aforementioned optical circuit changes, and the property of the aforementioned optical circuit is adjusted so that the difference of the amount of phase changes and design value in each path for which it asked at the aforementioned amount measurement process of phase changes may become fixed.

[0015] Moreover, while the interferometer which used the light source which has coherent length (coherence length) shorter than the optical path difference during two arbitrary paths in the optical circuit used as the candidate for specific adjustment is formed according to the property adjusting device of an optical circuit according to claim 2, the aforementioned optical circuit is installed in one optical path of this interferometer. Moreover, interferogram [of the light wave and the aforementioned reference beam which the optical path length x of the optical path of another side which is the reference-beam way of the aforementioned interferometer changed with optical-path-length adjustable means in this state, and spread each path by the measurement means] $V(x)$ It is measured. furthermore, a beat signal extraction means -- aforementioned interferogram $V(x)$ from $-N$ isolated beat signal $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots$, the Fourier transform of the beat signal $V_k(x)$ which N) was extracted and was this extracted are calculated by the calculation means Moreover, the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of the aforementioned optical circuit changes, and the property of the aforementioned optical circuit is adjusted by refractive-index control means so that the amount of phase changes which the light which spread each path receives from the phase obtained from the calculation result of this Fourier transform is drawn by the amount measurement means of phase changes and the difference of the amount of phase changes and the design value of each path for which it asked by the aforementioned amount measurement means of phase changes may serve as constant value.

[0016]

[Example] Hereafter, one example of this invention is explained using a drawing. Drawing 1 is a flow chart explaining the principle of the amount measurement process of phase changes with which the property adjustment method of the optical circuit in one example of this invention and its equipment are equipped. The optical circuit used as the candidate for property adjustment is installed in one optical path of the interferometer which used the light source which has coherent length (coherence length) shorter than the optical path difference during two arbitrary paths in an optical circuit at the process S1 of the amount measurement process of phase changes, the optical path length x of the optical path of another side which is a reference-beam way is changed, and the interferogram produced by interference with the light wave and the aforementioned reference beam which spread each path in the aforementioned optical circuit is measured. The electric field E of the light which spread by this the aforementioned optical circuit which has N paths (σ) are the above (3). Interferogram V which set the optical path length of $g(\sigma)$ and a reference beam to x , and measured the spectrum of the light source of an interferometer when what is expressed with a formula was taken into consideration (x) The following (5) - (7) It is expressed like a formula.

[0017]

$V(x)$

$$= \int g(\sigma) \cdot \sum_{k=1}^N a_k(\sigma) \cdot \exp(-i\phi_k(\sigma)) \cdot \exp(2\pi i \sigma x) d\sigma$$

...(5)

$$= \sum_{k=1}^N V_k(x) \quad \dots(6)$$

$V_k(x) = \int g(\sigma) a_k(\sigma) \exp(-i\phi_k(\sigma)) \exp(2\pi i \sigma x) d\sigma \quad \dots(7)$ It is only a time of the optical

path length of the optical path along which each light passed being in agreement within the coherence length of the light source that the light wave which spread each path in the aforementioned optical circuit, and a reference beam interfere. Since the coherence length (it is defined as the full width at half maximum of integralg (sigma) and exp (2piisigmax) dsigma) of the light source is shorter than the optical-path-length difference during two arbitrary paths in the aforementioned optical circuit, the beat signal Vj (x) of the light wave and reference beam to which the beat signal Vk of the light and the reference beam which spread each path in the aforementioned optical circuit (x) spread other paths in the aforementioned optical circuit, and (j!=k) do not lap. That is, the interferograms which the optical path length of a reference-beam way was changed, and were measured are N isolated beat signals Vk (k= 1, 2, --, N) corresponding to each path in the aforementioned optical circuit. Shell formation is carried out.

[0018] Moreover, interferogram V measured at the process S2 (x) The beat signal Vk including the information on shell each path (x) is separated.

[0019] Then, at a process S3, the coordinate yk (namely, x=xk+yk) which makes a zero the coordinate xk of the peak value neighborhood of the separated beat signal Vk (x) is introduced, and the Fourier transform is calculated.

Amplitude bk (sigma) obtained by carrying out the Fourier transform Phase phik (sigma) Amplitude ak (sigma) of the light which spreads each path Amount of phase changes phik which the light which spread each path receives (sigma) It is connected with the following relational expression (8) and (9).

[0020]

$g(\sigma) ak(\sigma) \exp(-iphik(\sigma)) = \exp(-2\pi i s\sigma m x_k)$, integralWk(yk), and $\exp(-2\pi i s\sigma m y_k) dy_k$ -- (8) = $\exp(-2\pi i s\sigma m x_k)$, bk (sigma), $\exp(-iphik(\sigma))$ -- (9) Here, it is $W_k(y_k) = V_k(y_k + x_k)$. It carried out.

[0021] therefore, amplitude sk (sigma) of the light which spreads each path the following (10) formulas -- moreover, amount of phase changes phik (sigma) which the light which spread each path receives It can determine from the following (11) - (13) formula including the unfixed term of 2pim (m= 1, 2, 3 --), respectively.

[0022]

$ak(\sigma) = bk(\sigma)/g(\sigma)$ -- (10) $phik(\sigma) = 2\pi s\sigma m x_k + phik(\sigma) + 2pim k$ -- (11) = $phik(\sigma) + 2pim k$ -- (12) $phik(\sigma) = 2\pi s\sigma m x_k + phik(\sigma)$ -- (13) -- the amount of phase changes which calculates the Fourier transform of a beat signal in this way, and is obtained -- phik (sigma) of the aforementioned (13) formula it is -- phik (sigma) of the aforementioned (12) formula the actual value expressed -- 2pimk There is a difference. However, the property of an optical circuit is the phase contrast during the arbitrary paths expressed with the following (14) formulas. $phik(\sigma) - phij(\sigma) = (phik(\sigma) - phij(\sigma)) + 2\pi(m_k - m_j)$ -- Since (14) is determined by which has shifted from the design value The optical-path-length difference during each path can disregard the 2nd term, when sufficiently long compared with the wavelength of the light source, and the 2nd term of the aforementioned (14) formula can make the 1st term the phase contrast during arbitrary paths, when sufficiently small compared with the 1st term. Then, in process S4, the amount of phase changes which the light which spread each path receives from the aforementioned (13) formula is derived.

[0023] Drawing 4 is a flow chart which explains the example of a process which adjusts the property of the aforementioned optical circuit based on the amount of phase changes measured through the above process. First, the difference (it is defined as deltaphik (sigma)) of the amount of phase changes which the light which spread each path for which it asked at the aforementioned amount measurement process of phase changes (process S) receives, and its design value is calculated (process t1). Here, it is deltaphik (sigma). When dispersion is larger than the predetermined value decided beforehand, the amount of phase control of each path which should be adjusted is determined (process t2), and the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of the aforementioned optical circuit is controlled based on this amount of phase control (process t3 (it is made to change)).

[0024] After passing through the processes (refractive-index control process) from t1 to t3 of a more than, it returns to the amount measurement process S of phase changes again, and the amount of phase changes which the light which spread each path receives is measured. It is the difference deltaphik (sigma) with the design value of the amount of phase changes at a process t1. It calculates and is deltaphik (sigma). It carries out by repeating the process of t2, t3, S, and t1 until dispersion becomes smaller than the value decided beforehand. Thereby, the property of the aforementioned optical circuit can be adjusted with high precision in a short time.

[0025] Next, the example of property adjustment of an optical circuit concrete as the 1st example of this invention is explained. The block diagram showing the array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit (an optical circuit calls hereafter) 10 from which drawing 5 or drawing 8 is drawing explaining the 1st example of this invention, and drawing 5 serves as the candidate for property adjustment, the block diagram showing the equipment which measures the amount of phase changes in which the light which spread each path in an optical circuit 10 receives drawing 6, the block diagram showing the equipment which controls the refractive index of the optical waveguide from which drawing 7 constitutes each path of an optical circuit 10, and drawing 8 are the important section perspective diagram.

[0026] The 1st example adjusted about the optical circuit 10 as shown in drawing 5. As for 10, an array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit and 11 are array waveguides by which 11 input port and 12 are constituted from a waveguide [element / concave surface slab waveguide type *****] from which 11 output ports differ from 13 and 14, and 15 differs in 41 length in drawing 5.

[0027] The light by which incidence was carried out from input port 11 is diffracted in the slab waveguide type ***** element 13 of an input side, and is distributed to the array waveguide 15. The optical-path-length difference between the ***** waveguides of the array waveguide 15 is set up so that it may be set to constant value deltaL. That is, the amount of phase changes which the light which spread the k-th array waveguide receives is expressed with the following (15) and (16) formula.

$\phi_{ik}(\sigma) = 2\pi\sigma(L + k\delta L + \Delta L_k) \quad (15) = 2\pi\sigma(L + k\delta L) + 2\pi\sigma(\Delta L_k) \quad (16)$ Here, it is ΔL_k . It is the gap from the design value of the optical path length of each array waveguide produced at the time of waveguide production.

[0028] By spreading each waveguide of the array waveguide 15, it is multiplexed with the slab waveguide type ***** element 14 of an output side, and interferes in the light which received a different phase change expressed with the aforementioned (16) formula. Since the light of different wavelength is condensed by different output port as a result of this interference, this optical circuit 10 functions as a diffraction grating.

[0029] As for this optical circuit 10, optical-path-length difference deltaL between the ***** waveguides of the array waveguide 15 has [in / wavelength the band of 1.55 micrometers / the focal distance of 20 micrometers and the slab waveguide type ***** elements 13 and 14 is designed for the pitch of 1656 micrometers and the array waveguide 15 with 5762 micrometers, and] the property that light is distributed, in each output port 12 at intervals of 10GHz.

[0030] In the example of *** 1, the amount of phase changes in each path in an optical circuit 10 was measured using the measuring device as shown in drawing 6. In drawing 6, 10 is an optical circuit used as the candidate for property adjustment mentioned above. 20 Light emitting diode with a wavelength of 1.55 micrometers, A distributed feedback laser with a wavelength of 1.3 micrometers, and 22a and 22b 21 An optical fiber 3dB coupler, 23a, 23b, and 23c prism and 25 for an objective lens and 24 A reflector, For a stage and 27, one port of a coupler and 28 are [26] the dichroic mirror of 1.55 micrometer transparency of 1.3-micrometer reflective. For 29a and 29b, as for a fringe counter and 31, a light sensitive cell and 30 are [a wave recorder and 32] computers.

[0031] In drawing 6, incidence of the outgoing radiation light from the distributed feedback laser 21 with a light emitting diode [20] of 1.55 micrometers and a wavelength of 1.3 micrometers is carried out to coupler 22a, respectively, and it is carried out by coupler 22a for 2 minutes. While it was carried out for 2 minutes carries out incidence of the light to coupler 22b via an optical circuit 10. Moreover, after becoming a reference beam, being collimated by objective lens 23b at a collimated beam and being reflected by prism 24, it is reflected in parallel with a reflector 25, and is again condensed by objective lens 23b via prism 24, and incidence of the light of another side carried out in coupler 22a for 2 minutes is carried out to coupler 22b.

[0032] It is multiplexed by coupler 22b and the light and the reference beam which went via the optical circuit 10 are taken out from the port 27 of coupler 22b. The light which carried out outgoing radiation of the port 27 of coupler 22b is collimated by the collimated beam by objective lens 23c, 1.55-micrometer light penetrates a dichroic mirror 28, it reflects in light-sensitive-cell 29a, and 1.3-micrometer light is led to it again at light-sensitive-cell 29b, respectively.

[0033] Here, a reflector 25 is moved in parallel to a light beam using a stage 26, and the optical path length of a reference-beam way is changed. Thereby, in light-sensitive-cell 29b, change of the optical path length of a reference-beam way only $\lambda/2$ detects the beat signal with which only a half period changes. The fringe counter 30 detects change of this beat signal, and whenever the optical path length of a reference-beam way changes only $\lambda/2$, it generates a clock pulse.

[0034] On the other hand, in light-sensitive-cell 29a, the interferogram produced by interference with the light wave and reference beam which spread the optical circuit 10 is detected. Moreover, the wave recorder 31 set as external clock mode is the clock signal which the fringe counter 30 generated, and samples the output signal (interferogram produced by interference with the light wave and reference beam which spread the optical circuit 10) of light-sensitive-cell 29a (process S1). Furthermore, an interferogram is downloaded from the wave recorder 31 to a computer 32. Coordinate x_k near the peak value of the beat signal $V_k(x)$ which separated the beat signal V_k including the information on each path (x) (process S2), and was separated. It chooses this coordinate x_k Coordinate y_k made into a zero introducing -- the beat signal $V_k(x) - W_k(y_k)$ -- expressing -- the Fourier transform -- calculating (process S3) -- phase $\phi_{ik}(\sigma)$ the amount of phase changes which the light which spread each path receives from the aforementioned (13) formula -- derivation -- the bottom (process S4) Based on the amount of phase changes measured through the above process, the property of an optical circuit 10 was adjusted according to the flow chart shown in drawing 4.

[0035] Drawing 7 is drawing having shown the equipment configuration which carries out the process (process t3)

which controls the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of an optical circuit 10. drawing 7 -- setting -- 40 -- for a total reflection mirror and 43, as for the waveguide to which a video camera and 48 change an X-Y stage, and, as for 10, a light sensitive cell and 47 change [45 / a cylinder lens and / 46 / a beam splitter and] a refractive index, and 49, a convex lens and 44 are / a KrF excimer laser and 41 / a shutter, and 42a and 42b / a stage controller and 32 / computers

[0036] After passing a shutter 41, it is reflected by two mirrors 42a and mirror 42b, and the shape of beam is transformed by the outgoing radiation light of the KrF excimer laser 40 with a convex lens 43 and the cylinder lens 44. by the beam splitter 45, 95:5 appears in the reflected light and the transmitted light comparatively, and the laser beam which carried out outgoing radiation of the cylinder lens 44 is made into them for 2 minutes Then, the reflected light is condensed on the adjusted optical circuit 10 installed in the upper part of X-Y stage 48. Moreover, the transmitted light is led to a light sensitive cell 46, and is used for the monitor of the energy irradiated by the optical circuit 10.

[0037] A video camera 47 is used in order to act as the monitor of where [of a waveguide] the laser beam condensed by the optical circuit 10 is irradiated. X-Y stage 48 which installed the optical circuit 10 is connected to the stage controller 49 and a computer 32, and it is controlled whether a laser beam is irradiated by these in which position on an optical circuit 10. Moreover, the computer 32 is also performing opening-and-closing control of the shutter 41 of laser 40.

[0038] Although the example of composition mentioned above raised and explained the KrF excimer laser 40 to the example as laser used for refractive-index control helium-Cd laser, N2 laser, and various excimer lasers (it ArF(s) F2 --) Ar ion laser, such as XeCl, and Nd : An YAG laser, alexandrite (Cr:BeAl 2O4) laser, The thing and CO2 which have the wavelength of ultraviolet and visible regions, such as second [of titanium sapphire (Ti:aluminum 2O3) laser], and the 3rd higher harmonic [4th]. The high power laser of an infrared region like laser can also be used.

[0039] Drawing 8 is the perspective diagram which expanded the portion which irradiates a laser beam to the optical waveguide of an optical circuit 10 in drawing 7 . It is condensed by the 10mmx0.55mm ellipse form by the waveguide on the street of an optical circuit 10, and the laser beam transformed by the configuration with the convex lens 43 and the cylinder lens 44 is irradiated by only one of the optical waveguide which constitutes each path.

[0040] The property adjustment procedure of the optical circuit 10 by the above-mentioned composition is as follows. First, acting as the monitor of the irradiation position of an optical circuit 10 waveguide on the street with a video camera 47, the stage controller 49 is controlled by the computer 32 so that a laser beam is irradiated by the waveguide to adjust. Then, the shutter 41 of laser 40 is opened wide and irradiation is started by control of a computer 32. Under the present circumstances, the refractive index of the irradiated portion changes with irradiation of a laser beam, and the variation is controlled by irradiation power and irradiation time. Subsequently, based on the amount of phase control determined at the process t2 mentioned above, by irradiating a laser beam at an optical waveguide, a refractive index is changed and a shutter 41 is closed. These processes were performed about all the paths of an optical circuit 10, and the refractive index of the optical waveguide which constitutes all paths was changed.

[0041] (a) of drawing 9 the array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit 10 before adjustment -- amount of phase changes phik (sigma) in each path the measuring device shown in drawing 6 -- using -- measuring -- difference deltaphik (sigma) with the design value drawing having shown the distribution -- it is -- a horizontal axis -- the number of arrays -- moreover, the vertical axis expresses phase distribution, respectively (b) of drawing 9 The transmitted light frequency characteristic at this time is shown, the horizontal axis expresses relative frequency and the vertical axis expresses loss, respectively. Thus, the optical circuit 10 used for this example was the property of 10dB in the suppression ratio (side-lobe-suppression ratio) to the peak of a transparency band.

[0042] (a) of drawing 10 The process (t2 ->t3 ->S->t1) shown with the flow chart of drawing 4 is followed. About the array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit 10 after changing the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path and adjusting a property the amount of phase changes in each path -- measuring -- difference deltaphik (sigma) with the design value drawing having shown the distribution -- it is -- the same -- a horizontal axis -- the number of arrays -- moreover, the vertical axis expresses phase distribution, respectively Moreover, (b) of drawing 10 The transmitted light frequency characteristic at this time is shown, the horizontal axis expresses relative frequency and the vertical axis expresses loss, respectively. Thus, the side-lobe-suppression ratio has been improved by 2dB at 1 time of a process.

[0043] (a) of drawing 11 Difference deltaphik (sigma) of the amount of phase changes and design value in each path of the array waveguide type optical circuit 10 after performing a process (t2 ->t3 ->S->t1) again and adjusting a property A distribution is shown. Difference deltaphik (sigma) of the amount of phase changes and design value in this drawing to each path It turns out that it has adjusted so that it might become fixed. (b) of drawing 11 The transmitted light frequency characteristic at this time is shown. This shows that the side-lobe-suppression ratio is improvable to 32dB.

[0044] Next, the 2nd example of this invention is explained. Drawing 12 is drawing showing the composition of the array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit 10 which adjusted the property in the 2nd example of this

invention. The 2nd example of this invention is almost the same as the 1st example, and the difference between the 1st example and the 2nd example is in the point which used Ar ion laser instead of the KrF excimer laser 40 shown in drawing 7 while using the array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit 10 in which the stress grant film 16 which consists of amorphous silicon was formed on the array waveguide 15.

[0045] In the example of **** 2, by heating some noncrystalline silicon stress grant films 16 by Ar ion laser, and making it polycrystal-ize, the stress by the stress grant film 16 was eased partially, and the amount of phase changes in each waveguide was changed. Generally, the stress grant film 16 changes the stress of the both directions of a horizontal direction and a perpendicular direction to a substrate side, and the stress variation of each direction can control it by width of face of the stress grant film 16 to load. Then, in the example of **** 2, width of face of the stress grant film 16 was set to 95 micrometers so that the stress given to the array waveguide 15 might become the same in both directions. This is for making the same refractive-index variation of the both directions by stress relaxation.

[0046] (a) of drawing 13 And (b) A dashed line shows the distribution of errors of the transmitted light frequency characteristic of the optical circuit 10 before adjustment, and the amount of phase changes, respectively. The phase error is distributed for **180 degrees, and has become the cause which only 10dB of side-lobe-suppression ratios cannot take. Then, by changing the area which irradiates Ar ion laser at the stress grant film 16, the refractive-index controlled variable was changed, and it adjusted so that it might go into the range whose error of the amount of phase changes is **5 times. (a) of drawing 13 And (b) A solid line shows the transmitted light frequency characteristic and the phase distribution of errors after adjustment. It is improvable with reduction of the error of the amount of phase changes until the side-lobe-suppression ratio was set to 33dB.

[0047] the Ming kana from this result -- property adjustment of the optical circuit 10 which has three or more paths which were not able to be adjusted even if adjustment took the long time very much or the conventional method of changing blindly the refractive index of the waveguide which constitutes each path of an optical circuit 10 like took the long time was able to be performed with high precision in a short time

[0048]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the property adjustment method of the optical circuit of this invention according to claim 1 The difference of the amount of phase changes and design value of each path which the light which spread two or more paths in the optical circuit used as the candidate for property adjustment receives is calculated. Since the amount of phase control of each path which should be adjusted is determined and the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path is changed based on this amount of phase control Property adjustment of the optical circuit which was not able to be adjusted even if adjustment took the long time very much or the method of changing blindly the refractive index of the waveguide which constitutes each conventional path took the long time can be performed with high precision in a short time. Moreover, since this invention can be carried out for the already created optical circuit, it becomes possible [adjusting the optical circuit which has a substandard optical-frequency property to a desired property], and it contributes to the improvement in productivity of an optical circuit.

[0049] Moreover, since it has an amount measurement means of phase changes to derive the amount of phase changes which the light which spread each path of an optical circuit receives, and the refractive-index control means which control the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path of the aforementioned optical circuit according to the property adjusting device of an optical circuit according to claim 2 The difference of the amount of phase changes and design value of each path for which it asked by the aforementioned amount measurement means of phase changes is calculated. The amount of phase control of each path which should be adjusted can be determined, the refractive index of the optical waveguide which constitutes each path using the aforementioned refractive-index adjustment means based on this amount of phase control can be changed, and the property of the optical circuit after production can be adjusted to the inside of a short time with high precision.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The flow chart explaining the amount measurement process of phase changes in one example of this invention

[Drawing 2] The block diagram showing MZ optical circuit of 2x2 of the conventional example

[Drawing 3] Drawing showing the optical-frequency property of MZ optical circuit of 2x2 of the conventional example

[Drawing 4] The flow chart explaining the property adjustment process of the optical circuit in one example of this invention

[Drawing 5] The block diagram showing the array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit in the 1st example of this invention

[Drawing 6] The block diagram showing the measuring device which derives the amount of phase changes in the 1st example

[Drawing 7] The block diagram showing the equipment which performs the refractive-index control process (process t3) in the 1st example

[Drawing 8] The perspective diagram which explains to the optical waveguide in the 1st example the portion which irradiates a laser beam

[Drawing 9] Drawing showing the amount of phase changes and the transparency frequency characteristic of an array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit in each path before the property adjustment in the 1st example

[Drawing 10] Drawing showing the amount of phase changes and the transparency frequency characteristic of an array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit in each path after 1 process end in the 1st example

[Drawing 11] Drawing showing the amount of phase changes and the transparency frequency characteristic of an array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit in each path after 2 process end in the 1st example

[Drawing 12] The block diagram showing the array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit used as the candidate for adjustment in the 2nd example of this invention

[Drawing 13] Drawing showing the amount of phase changes and the transparency frequency characteristic of an array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit in each path before and behind the property adjustment in the 2nd example

[Description of Notations]

10 [-- Output port,] -- An array waveguide diffraction skeleton-pattern optical circuit, 11 -- Input port, 12 13 14 -- A concave surface slab waveguide type ***** element, 15 -- Array waveguide, 16 [-- A distributed feedback laser with a wavelength of 1.3 micrometers,] -- A stress grant film, 20 -- Light emitting diode with a wavelength of 1.55 micrometers, 21 22a, 22b -- An optical fiber 3dB coupler, 23a, 23b, 23c -- Objective lens, 24 [-- A stage, 27 / -- One port of a coupler,] -- Prism, 25 -- A reflector, 26 The dichroic mirror of 1.55 micrometer transparency of 28--1.3-micrometer reflective, 29a, 29b -- Light sensitive cell, 30 [-- Computer,] -- A fringe counter, 31 -- A wave recorder, 32 40 [-- Total reflection mirror,] -- A KrF excimer laser, 41 -- A shutter, 42a, 42b 43 [-- A beam splitter, 46 / -- Light sensitive cell,] -- A convex lens, 44 -- A cylinder lens, 45 47 [-- A stage controller, 51a, 51b--3dB directional coupler type ***** element, 52a, 52b / -- A waveguide, 53a 53b / -- Input port, 54a, 54b / -- Output port.] -- A video camera, 48 -- An X-Y stage, 49

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-294756

(43)公開日 平成7年(1995)11月10日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 2 B 6/122

識別記号

府内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/12

A

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全13頁)

(21)出願番号 特願平6-91261

(22)出願日 平成6年(1994)4月28日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 山田 裕朗

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 高田 和正

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 井上 靖之

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

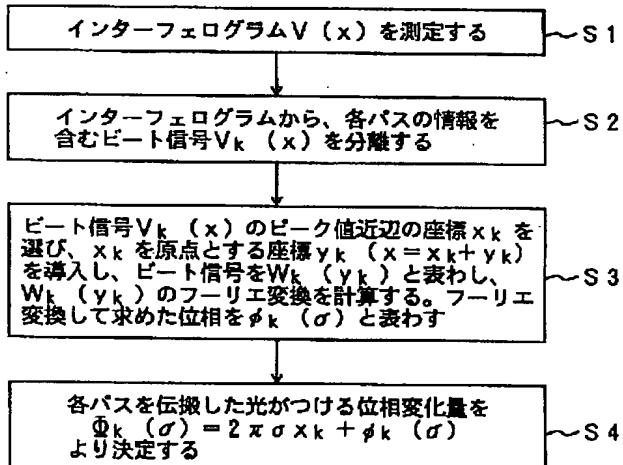
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光回路の特性調整方法及びその装置

(57)【要約】

【目的】 3個以上のバスを有する光回路についても、短時間の内に高精度に光回路の特性を調整できる光回路の特性調整方法及びその装置を提供する。

【構成】 特性調整対象となる光回路内の任意の2つのバス間の光路差よりも短いコヒーレント長(可干渉距離)を有する光源を使用した干渉計の一方の光路内に光回路を設置し、参照光路である他方の光路の光路長 x を変化させて、各バスを伝搬した光波と参照光とのインターフェログラム $V(x)$ を測定し(S1)、インターフェログラム $V(x)$ から N 個の孤立したビート信号 $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$)を抽出し(S2)、抽出したビート信号 $V_k(x)$ のフーリエ変換を計算し(S3)、フーリエ変換の位相から各バスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出し(S4)、各バスでの位相変化量とその設計値との差が一定となるよう光回路の各バスを構成する光導波路の屈折率を制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入出力ポート間に複数の合分波素子と該合分波素子間を結ぶ光導波路が配置され、該入出力ポート間の複数（N個とする）のパスを伝搬した光波の干渉波が出力ポートより取り出される光回路の特性調整方法において、

前記光回路内の任意の2つのパス間の光路差よりも短いコヒーレント長（可干渉距離）を有する光源を使用した干渉計の一方の光路内に前記光回路を設置し、参照光路である他方の光路の光路長xを変化させて、各パスを伝搬した光波と前記参照光とのインターフェログラムV(x)を測定し、

該インターフェログラムV(x)からN個の孤立したビート信号V_k(x)(k=1, 2, ..., N)を抽出し、

該抽出したビート信号V_k(x)のフーリエ変換を計算し、該計算結果より得られた位相から各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出する位相変化量測定工程と、前記位相変化量測定工程で求めた各パスでの位相変化量とその設計値との差が一定となるように前記光回路の各パスを構成する光導波路の屈折率を変化させる屈折率制御工程とを有することを特徴とする光回路の特性調整方法。

【請求項2】 入出力ポート間に複数の合分波素子と該合分波素子間を結ぶ光導波路が配置され、該入出力ポート間の複数（N個とする）のパスを伝搬した光波の干渉波が出力ポートより取り出される光回路の特性調整装置において、

前記光回路内の任意の2つのパス間の光路差よりも短いコヒーレント長（可干渉距離）を有する光源を使用した干渉計を設けると共に、

該干渉計の一方の光路内に前記光回路を設置し、

前記干渉計の参照光路である他方の光路の光路長xを変化させる光路長可変手段と、

各パスを伝搬した光波と前記参照光とのインターフェログラムV(x)を測定する測定手段と、

$$E(\sigma) = \sum_{k=1}^N a_k(\sigma) \cdot \exp(-i\phi_k(\sigma)) \quad \cdots(1)$$

$$I(\sigma) = |E(\sigma)|^2 \quad \cdots(2)$$

しかし、作製時に生じる屈折率、導波路形状、導波路内応力の微小な変動のために光回路内の各パスで光が受け位相変化量が設計値 $\phi_k(\sigma)$ から微小量 $\delta\phi_k(\sigma)$ ず

$$E(\sigma) = \sum_{k=1}^N a_k(\sigma) \cdot \exp\{-i(\phi_k(\sigma) + \delta\phi_k(\sigma))\} \quad \cdots(3)$$

そこで、従来は光回路の光周波数特性をモニターしながら、導波路の屈折率を変化させて、各パス間の位相差の設計値からのずれを修正し、特性を調整していた。

【0006】 次に、従来の特性調整方法について、マッハ・ツエンダ(Mach Zehnder: MZ)形光回路を例に挙

前記インターフェログラムV(x)からN個の孤立したビート信号V_k(x)(k=1, 2, ..., N)を抽出するビート信号抽出手段と、

該抽出したビート信号V_k(x)のフーリエ変換を計算する計算手段と、

該計算結果より得られた位相から各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出する位相変化量測定手段と、

前記位相変化量測定手段により求めた各パスの位相変化量とその設計値との差が一定値となるように、前記光回路の各パスを構成する光導波路の屈折率を変化させる屈折率制御手段とを備えたことを特徴とする光回路の特性調整装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、入出力ポート間に複数の合分波素子と該合分波素子間を結ぶ光導波路が配置され、該入出力ポート間の複数（N個とする）のパスを伝搬した光波の干渉波が出力ポートより取り出される光回路の特性を調整する方法とその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、入出力ポート間に複数の合分波素子と該合分波素子間を結ぶ光導波路が配置され、該入出力ポート間の複数（N個とする）のパスを伝搬した光波の干渉波が出力ポートより取り出される光回路は、高機能光部品を実現するために不可欠である。

【0003】 前述した光回路の出力光の電界E及び強度Iは、波数を σ 、各パスを伝搬する光の振幅を $a_k(\sigma)$ (k=1, 2, 3, ..., N)、各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を $\phi_k(\sigma)$ (k=1, 2, 3, ..., N)とすると次の(1)式及び(2)式のように表されるので、振幅 $a_k(\sigma)$ 及び位相変化量 $\phi_k(\sigma)$ を変化させることによりさまざまな特性を実現することができる。

【0004】

れると、出力光の電界Eは次の(3)式のようになるので、光回路の特性に大きな影響を与える。

【0005】

げて説明する。図2は2×2のMZ光回路の構成を示す図である。図において、51a, 51bは2つの3dB方向性結合器型合分波素子、52a, 52bは該合分波素子51a, 51bを結ぶ2本の導波路、53a, 53bは入力ポート、54a, 54bは出力ポートである。

3

一方の入力ポート 53a から入射して出力ポート 54a から出射する光を考えると、入力光は合分波素子 51a で導波路 52a, 52b に分波され、合分波素子 51b で合波される。

【0007】従って、出力光は入力ポート53aから導

$$I(\sigma) = \cos^2 [-i \{ (\phi_1 - \phi_2) + (\delta\phi_1 - \delta\phi_2) \}] \quad \dots (4)$$

図3は 2×2 のMZ光回路の光周波数特性を示した図であり、図中の実線は設計特性 ($\delta\phi_2 - \delta\phi_1 = 0$) を示し、波線は光路長差が設計値からずれたときの特性

$(\delta \phi_2 - \delta \phi_1 \neq 0)$ を示している。このように光路長差が設計値からはずれたときは、設計特性からシフトした特性が観測される。

【0009】そこで、従来は光回路の光周波数特性をモニターしながら、その光周波数特性が設計特性になるようにバス1を構成する導波路52aとバス2を構成する導波路52bのいずれかの屈折率を徐々に変化させ、光回路の特性を調整していた。このように、2個のバスを有する 2×2 のMZ光回路の場合は、光周波数特性とバス間の位相差の設計値からのずれ($\delta\phi_1 - \delta\phi_2$)が対応しているので、光周波数特性に基づいて、光回路の特性を調整することができた。

[0 0 1 0]

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述した従来の特性調整方法では、3個以上のパスを有する光回路の場合は、光回路の光周波数特性から、各パス間の位相差の設計値からのずれを決定することができない。従って、従来は、調整すべき各パスでの位相変化量がわからぬので、各パスを構成する導波路の屈折率を少し変えて光周波数特性を測定する工程を繰り返し行ない、徐々に特性を調整する以外に方法がなかった。このように、各パスを構成する導波路の屈折率をやみくもに変える従来の方法では、調整に非常に長時間をするか、若しくは長時間を要しても調整することができないという問題点があった。

【0011】本発明の目的は上記の問題点に鑑み、3個以上のバスを有する光回路についても、短時間の内に高精度に光回路の特性を調整できる光回路の特性調整方法及びその装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の目的を達成するために、請求項1では、入出力ポート間に複数の合分波素子と該合分波素子間を結ぶ光導波路が配置され、該入出力ポート間の複数（N個とする）のパスを伝搬した光波の干渉波が出力ポートより取り出される光回路の特性調整方法において、前記光回路内の任意の2つのパス間の光路差よりも短いコヒーレント長（可干渉距離）を有する光源を使用した干渉計の一方の光路内に前記光回路を設置し、参照光路である他方の光路の光路長xを変化させて、各パスを伝搬した光波と前記参照光とのインターフェログラムV(x)を測定し、該インターフ

4

波路 5 2 a を通過するパス 1 と導波路 5 2 b を通過するパス 2 の 2 つのパスを通った光の干渉波となる。出力光強度は前記(1) 式及び(2) 式において $a_1(\sigma) = a_2(\sigma) = 0.5$ として求められ、次の(4) 式のように表される。

[0008]

$$) + (\delta \phi_1 - \delta \phi_2) \}] \quad \cdots (4)$$

エログラム $V(x)$ から N 個の孤立したビート信号 $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$) を抽出し、該抽出したビート信号 $V_k(x)$ のフーリエ変換を計算し、該計算結果より得られた位相か

10 ら各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出する位相変化量測定工程と、前記位相変化量測定工程で求めた各パスでの位相変化量とその設計値との差が一定となるように前記光回路の各パスを構成する光導波路の屈折率を変化させる屈折率制御工程とを有する光回路の特性調整方法を提案する。

【0013】また、請求項2では、入出力ポート間に複数の合分波素子と該合分波素子間を結ぶ光導波路が配置され、該入出力ポート間の複数（N個とする）のバスを伝搬した光波の干渉波が出力ポートより取り出される光回路の特性調整装置において、前記光回路内の任意の2つのバス間の光路差よりも短いコヒーレント長（可干渉距離）を有する光源を使用した干渉計を設けると共に、

該干渉計の一方の光路内に前記光回路を設置し、前記干渉計の参照光路である他方の光路の光路長 x を変化させる光路長可変手段と、各バスを伝搬した光波と前記参照光とのインターフェログラム $V(x)$ を測定する測定手段と、前記インターフェログラム $V(x)$ から N 個の孤立したビート信号 $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$) を抽出するビート信号抽出手段と、該抽出したビート信号 $V_k(x)$ のフーリエ変換を計算する計算手段と、該計算結果より得られた位相

次と計算との計算比較と、該計算結果より得られた位相から各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出する位相変化量測定手段と、前記位相変化量測定手段により求めた各パスの位相変化量とその設計値との差が一定値となるように、前記光回路の各パスを構成する光導波路の屈折率を変化させる屈折率制御手段とを備えた光回路の特性調整装置を提案する。

[0 0 1 4]

【作用】本発明の請求項1記載の光回路の特性調整方法によれば、位相変化量測定工程において、特性調整対象

40 となる光回路内の任意の2つのパス間の光路差よりも短いコヒーレント長(可干渉距離)を有する光源を使用した干渉計の一方の光路内に前記光回路が設置され、参照光路である他方の光路の光路長 x が変化されて、各パスを伝搬した光波と前記参照光とのインターフェログラム $V(x)$ が測定される。さらに、該インターフェログラム $V(x)$ から N 個の孤立したビート信号 $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$)が抽出され、該抽出されたビート信号 $V_k(x)$ のフーリエ変換が計算されると共に、該フーリエ変換の計算結果より得られた位相から各パスを伝搬した光が受ける位相変化量が導出される。また、前記位相変化量測定工程で

求めた各バスでの位相変化量とその設計値との差が一定となるように、屈折率制御工程において、前記光回路の各バスを構成する光導波路の屈折率が変化され、前記光回路の特性が調整される。

【0015】また、請求項2記載の光回路の特性調整装置によれば、特定調整対象となる光回路内の任意の2つのバス間の光路差よりも短いコヒーレント長（可干渉距離）を有する光源を使用した干渉計が設けられると共に、該干渉計の一方の光路内に前記光回路が設置される。また、この状態で光路長可変手段により前記干渉計の参照光路である他方の光路の光路長 x が変化され、測定手段によって各バスを伝搬した光波と前記参照光とのインターフェログラム $V(x)$ が測定される。さらに、ビート信号抽出手段によって前記インターフェログラム $V(x)$ から N 個の孤立したビート信号 $V_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$) が抽出され、該抽出されたビート信号 $V_k(x)$ のフーリエ変換が計算手段によって計算される。また、該フーリエ変換の計算結果より得られた位相から各バスを伝搬した光が受ける位相変化量が位相変化量測定手段によって導出され、前記位相変化量測定手段により求めた各バスの位相変化量とその設計値との差が一定値となるように、

$$V(x)$$

$$= \int g(\sigma) \cdot \sum_{k=1}^N a_k(\sigma) \cdot \exp(-i\phi_k(\sigma)) \cdot \exp(2\pi i \sigma x) d\sigma \quad \dots(5)$$

$$= \sum_{k=1}^N V_k(x) \quad \dots(6)$$

$$V_k(x) = \int g(\sigma) a_k(\sigma) \exp(-i\phi_k(\sigma)) \exp(2\pi i \sigma x) d\sigma \quad \dots(7)$$

前記光回路内の各バスを伝搬した光波と参照光とが干渉するのは、それぞれの光が通った光路の光路長が光源のコヒーレンス長以内で一致するときのみである。光源のコヒーレンス長 ($\int g(\sigma) \cdot \exp(2\pi i \sigma x) d\sigma$ の半值全幅と定義する) は前記光回路内の任意の2つのバス間の光路長差よりも短いので、前記光回路内の各バスを伝搬した光と参照光とのビート信号 $V_k(x)$ は、前記光回路内の他のバスを伝搬した光波と参照光とのビード信号 $V_j(x)$ ($j \neq k$) とは重ならない。即ち、参照光路の光路長を変化させて測定したインターフェログラムは、前記光回路内の各バスに対応する孤立した N 個のビート信号 V_k ($k=1, 2, \dots, N$) から形成される。

$$\begin{aligned} & g(\sigma) a_k(\sigma) \exp(-i\phi_k(\sigma)) \\ &= \exp(-2\pi i \sigma x_k) \cdot \int W_k(y_k) \cdot \exp(-2\pi i \sigma y_k) d y_k \end{aligned} \quad \dots(8)$$

$$= \exp(-2\pi i \sigma x_k) \cdot b_k(\sigma) \cdot \exp(-i\phi_k(\sigma)) \quad \dots(9)$$

ここで、 $W_k(y_k) = V_k(y_k + x_k)$ とした。

【0021】従って、各バスを伝搬する光の振幅 s

屈折率制御手段によって前記光回路の各バスを構成する光導波路の屈折率が変化され前記光回路の特性が調整される。

【0016】

【実施例】以下、図面を用いて本発明の一実施例を説明する。図1は、本発明の一実施例における光回路の特性調整方法及びその装置に備えられる位相変化量測定工程の原理を説明するフローチャートである。位相変化量測定工程の工程S1では、光回路内の任意の2つのバス間の光路差よりも短いコヒーレント長（可干渉距離）を有する光源を使用した干渉計の一方の光路内に特性調整対象となる光回路を設置し、参照光路である他方の光路の光路長 x を変化させ、前記光回路内の各バスを伝搬した光波と前記参照光との干渉によって生じるインターフェログラムを測定する。これにより、 N 個のバスを有する前記光回路を伝搬した光の電界 $E(\sigma)$ が前記(3)式で表されることを考慮すると、干渉計の光源のスペクトルを $g(\sigma)$ 、参照光の光路長を x として、測定したインターフェログラム $V(x)$ は、次の(5)～(7)式のように表される。

【0017】

【0018】また、工程S2では、測定したインターフェログラム $V(x)$ から各バスの情報を含むビート信号 $V_k(x)$ を分離する。

【0019】この後、工程S3では、分離したビート信号 $V_k(x)$ のピーク値近辺の座標 x_k を原点とする座標 y_k （すなわち、 $x = x_k + y_k$ ）を導入し、フーリエ変換を計算する。フーリエ変換して得られた振幅 $b_k(\sigma)$ と位相 $\phi_k(\sigma)$ は、各バスを伝搬する光の振幅 $a_k(\sigma)$ と各バスを伝搬した光が受ける位相変化量 $\phi_k(\sigma)$ と次の関係式(8)(9)で結ばれる。

【0020】

$\phi_k(\sigma)$ は次の(10)式より、また各バスを伝搬した光が受ける位相変化量 $\phi_k(\sigma)$ は $2\pi m$ ($m=1, 2, 3, \dots$) の不定

項を含めて次の(11)～(13)式よりそれぞれ決定できる。

【0022】

$$a_k(\sigma) = b_k(\sigma) / g(\sigma) \quad \cdots (10)$$

$$\phi_k(\sigma) = 2\pi\sigma x_k + \Phi_k(\sigma) + 2\pi m_k \quad \cdots (11)$$

$$= \Phi_k(\sigma) + 2\pi m_k \quad \cdots (12)$$

$$\Phi_k(\sigma) = 2\pi\sigma x_k + \phi_k(\sigma) \quad \cdots (13)$$

$$\phi_k(\sigma) - \phi_j(\sigma) = (\Phi_k(\sigma) - \Phi_j(\sigma)) + 2\pi(m_k - m_j) \quad \cdots (14)$$

が設計値からどれだけずれているかで決定されるので、前記(14)式の第2項が第1項に比べて十分小さいとき、即ち各パス間の光路長差が光源の波長に比べて十分長いときは、第2項を無視して、第1項を任意のパス間の位相差とすることができます。そこで、工程S4では、前記(13)式より、各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出する。

【0023】図4は、以上の工程を経て測定した位相変化量に基づいて、前記光回路の特性を調整する工程例を説明するフローチャートである。まず、前記位相変化量測定工程(工程S)で求めた各パスを伝搬した光が受ける位相変化量とその設計値との差($\delta\Phi_k(\sigma)$ と定義する)を計算する(工程t1)。ここで、 $\delta\Phi_k(\sigma)$ のばらつきが予め決められた所定値より大きい場合は、調整すべき各パスの位相制御量を決定し(工程t2)、この位相制御量に基づいて、前記光回路の各パスを構成する光導波路の屈折率を制御する(変化させる)(工程t3)。

【0024】以上のt1からt3までの工程(屈折率制御工程)を経た後、再び位相変化量測定工程Sに戻り、各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を測定する。工程t1で位相変化量の設計値との差 $\delta\Phi_k(\sigma)$ を計算し、 $\delta\Phi_k(\sigma)$ のばらつきがあらかじめ決めた値より小さくなるまで、t2、t3、S、t1の工程を繰り返し

$$\phi_k(\sigma) = 2\pi\sigma(L + k\Delta L + \delta L_k) \quad \cdots (15)$$

$$= 2\pi\sigma(L + k\Delta L) + 2\pi\sigma(\delta L_k) \quad \cdots (16)$$

ここで、 δL_k は導波路作製時に生じる各アレー導波路の光路長の設計値からのずれである。

【0028】アレー導波路15の各導波路を伝搬することによって、前記(16)式で表される異なる位相変化を受けた光は、出力側のスラブ導波路型合分波素子14で合波されて干渉する。この干渉の結果、異なる波長の光は異なる出力ポートに集光されるので、本光回路10は回折格子として機能する。

【0029】本光回路10は、アレー導波路15の隣合う導波路間の光路長差 ΔL が1656μm、アレー導波路15のピッチが20μm、スラブ導波路型合分波素子13、14の焦点距離が5762μmと設計されており、波長1.55μm帯において10GHzの間隔で各出力ポート12に光が分配される特性を有する。

【0030】本第1の実施例では、図6に示したような測定装置を用いて、光回路10内の各パスでの位相変化量を測定した。図6において、10は前述した特性調整

このように、ビート信号のフーリエ変換を計算して得られる位相変化量は、前記(13)式の $\Phi_k(\sigma)$ であって、前記(12)式の $\phi_k(\sigma)$ で表される実際の値とは $2\pi m_k$ の差がある。しかしながら、光回路の特性は次の(14)式で表される任意のパス間の位相差

$$\phi_k(\sigma) - \phi_j(\sigma) = (\Phi_k(\sigma) - \Phi_j(\sigma)) + 2\pi(m_k - m_j) \quad \cdots (14)$$

行なう。これにより、前記光回路の特性を短時間で高精度に調整することができる。

10 【0025】次に、本発明の第1の実施例として具体的な光回路の特性調整例を説明する。図5乃至図8は、本発明の第1の実施例を説明する図であって、図5は特性調整対象となるアレー導波路回折格子型光回路(以下、光回路と称する)10を示す構成図、図6は光回路10内の各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を測定する装置を示す構成図、図7は光回路10の各パスを構成する光導波路の屈折率を制御する装置を示す構成図、図8はその要部斜視図である。

【0026】第1の実施例は、図5に示すような光回路20 10について調整を行なった。図5において10はアレー導波路回折格子型光回路、11は11本の入力ポート、12は11本の出力ポート、13、14は凹面スラブ導波路型合分波素子、15は41本の長さの異なる導波路から構成されるアレー導波路である。

【0027】入力ポート11から入射された光は入力側のスラブ導波路型合分波素子13において回折し、アレー導波路15に分配される。アレー導波路15の隣合う導波路間の光路長差は一定値 ΔL となるように設定されている。即ち、k番目のアレー導波路を伝搬した光が受け

30 ける位相変化量は、次の(15)(16)式で表される。

$$\phi_k(\sigma) = 2\pi\sigma(L + k\Delta L + \delta L_k) \quad \cdots (15)$$

$$= 2\pi\sigma(L + k\Delta L) + 2\pi\sigma(\delta L_k) \quad \cdots (16)$$

対象となる光回路であり、20は波長1.55μmの発光ダイオード、21は波長1.3μmの分布帰還型レーザ、22a、22bは光ファイバ3dBカプラ、23a、23b、23cは対物レンズ、24はプリズム、25はリフレクタ、26はステージ、27はカプラの一方のポート、28は1.3μm反射1.55μm透過のダイクロイックミラー、29a、29bは光検出器、30はフリンジカウンタ、31は波形レコーダ、32はコンピュータである。

【0031】図6において、1.55μmの発光ダイオード20と波長1.3μmの分布帰還型レーザ21からの出射光は、それぞれカプラ22aに入射され、カプラ22aで2分される。2分された一方の光は光回路10を経由してカプラ22bに入射する。また、カプラ22aにおいて2分された他方の光は、参照光となり、対物レンズ23bによって平行ビームにコリメートされ、プリズム24により反射された後、リフレクター25で平

行に反射され、再びプリズム24を経由して、対物レンズ23bで集光されカプラ22bに入射する。

【0032】光回路10を経由した光と参照光はカプラ22bで合波され、カプラ22bのポート27から取り出される。カプラ22bのポート27を出射した光は対物レンズ23cによって平行ビームにコリメートされ、1.55μmの光はダイクロイックミラー28を透過して光検出器29aに、また1.3μmの光は反射して光検出器29bにそれぞれ導かれる。

【0033】ここで、ステージ26を使用してリフレクター25を光ビームに対して平行に移動させて、参照光路の光路長を変化させる。これにより、光検出器29bでは、参照光路の光路長がλ/2だけ変化すると、半周期だけ変化するビート信号が検出される。フリンジカウンター30はこのビート信号の変化を検出して、参照光路の光路長がλ/2だけ変化するごとにクロックパルスを発生する。

【0034】一方、光検出器29aでは光回路10を伝搬した光波と参照光との干渉によって生じるインターフェログラムが検出される。また、外部クロックモードに設定された波形レコーダ31は、フリンジカウンタ30が生成したクロック信号で、光検出器29aの出力信号（光回路10を伝搬した光波と参照光との干渉によって生じるインターフェログラム）をサンプリングする（工程S1）。さらに、波形レコーダ31からインターフェログラムをコンピュータ32に取り込み、各バスの情報を含むビート信号V_k(x)を分離し（工程S2）、分離したビート信号V_k(x)のピーク値近傍の座標x_kを選び、この座標x_kを原点とする座標y_kを導入し、ビート信号V_k(x)をW_k(y_k)と表し、そのフーリエ変換を計算し（工程S3）、その位相φ_k(σ)と前記(13)式から各バスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出した（工程S4）。以上の工程を経て測定した位相変化量に基づいて、図4に示したフローチャートにしたがって光回路10の特性を調整した。

【0035】図7は光回路10の各バスを構成する光導波路の屈折率を制御する工程（工程t3）を実施する装置構成を示した図である。図7において、40はKrfエキシマレーザ、41はシャッタ、42a、42bは全反射ミラー、43は凸レンズ、44は円筒レンズ、45はビームスプリッタ、46は光検出器、47はビデオカメラ、48はXYステージ、10は屈折率を変化させる導波路、49はステージコントローラ、32はコンピュータである。

【0036】Krfエキシマレーザ40の出射光はシャッタ41を通過した後、2枚のミラー42aとミラー42bで反射され、凸レンズ43と円筒レンズ44によってビーム形状が変形される。円筒レンズ44を出射したレーザ光は、ビームスプリッタ45で反射光と透過光とに95:5の割合で2分される。この後、反射光は、X

Yステージ48の上部に設置された被調整光回路10上に集光される。また、透過光は光検出器46に導かれ、光回路10に照射されるエネルギーのモニターに利用される。

【0037】ビデオカメラ47は光回路10に集光されたレーザ光が導波路のどこに照射されているかをモニターするために使用される。光回路10を設置したXYステージ48はステージコントローラ49とコンピュータ32に接続され、これらによって光回路10上のどの位置にレーザ光を照射するかが制御される。また、コンピュータ32は、レーザ40のシャッタ41の開閉制御も行っている。

【0038】前述した構成例では屈折率制御に用いるレーザとして、KrFエキシマレーザ40を例に上げ説明したが、He-Cdレーザ、N₂レーザ、各種エキシマレーザ(F₂、ArF、XeCl等)、ArイオンレーザやNd:YAGレーザ、アレキサンドライト(Cr:BeAl₂O₄)レーザ、チタンサファイヤ(Ti:Al₂O₃)レーザの第2次、第3次、第4次高調波等、紫外・可視領域の波長を有するものやCO₂レーザのような赤外領域の高出力レーザも使用することができる。

【0039】図8は、図7のなかで光回路10の光導波路にレーザ光を照射する部分を拡大した斜視図である。凸レンズ43と円筒レンズ44によって形状が変形されたレーザ光は、光回路10の導波路上で10mm×0.55mmの楕円形に集光され、各バスを構成する光導波路中の1本だけに照射される。

【0040】前述の構成による光回路10の特性調整手順は以下の通りである。まず、ビデオカメラ47により光回路10の導波路上の照射位置をモニターしながら、調整する導波路にレーザ光が照射されるようにコンピュータ32によってステージコントローラ49を制御する。この後、コンピュータ32の制御によってレーザ40のシャッタ41を開放し、照射が開始される。この際、照射した部分の屈折率はレーザ光の照射により変化し、その変化量は照射パワーと照射時間で制御される。次いで、前述した工程t2で決定した位相制御量に基づいて、レーザ光を光導波路に照射することによって、屈折率を変化させ、シャッタ41を閉じる。これらの工程を光回路10の全てのバスについて行ない、全てのバスを構成する光導波路の屈折率を変化させた。

【0041】図9の(a)は、調整前のアレー導波路回折格子型光回路10について、各バスでの位相変化量Φ_k(σ)を図6に示した測定装置を用いて測定し、その設計値との差δΦ_k(σ)の分布を示した図であり、横軸はアレイ数を、また縦軸は位相分散をそれぞれ表している。図9の(b)は、このときの透過光周波数特性を示したものであり、横軸は相対周波数を、また縦軸は損失をそれぞれ表している。このように本実施例に使用した光回路10は、透過バンドのピークに対する抑圧比（サイ

ドロープ抑圧比)が10dBという特性であった。

【0042】図10の(a)は、図4のフローチャートで示した工程(t2→t3→S→t1)にしたがって、各パスを構成する光導波路の屈折率を変化させ、特性を調整した後のアレー導波路回折格子型光回路10について、各パスでの位相変化量を測定し、その設計値との差 $\delta\Phi_k(\sigma)$ の分布を示した図であり、同様に横軸はアレイ数を、また縦軸は位相分散をそれぞれ表している。また、図10の(b)は、このときの透過光周波数特性を示したものであり、横軸は相対周波数を、また縦軸は損失をそれぞれ表している。このように、1回の工程でサイドロープ抑圧比が2dBに改善された。

【0043】図11の(a)は、工程(t2→t3→S→t1)を再び実行し、特性を調整した後のアレー導波路型光回路10の各パスでの位相変化量とその設計値との差 $\delta\Phi_k(\sigma)$ の分布を示したものである。この図から、各パスでの位相変化量とその設計値との差 $\delta\Phi_k(\sigma)$ が一定となるように調整できたことがわかる。図11の(b)は、このときの透過光周波数特性を示したものである。これより、サイドロープ抑圧比を32dBに改善することができたことがわかる。

【0044】次に、本発明の第2の実施例を説明する。図12は、本発明の第2の実施例で特性の調整を行なったアレー導波路回折格子型光回路10の構成を示す図である。本発明の第2の実施例は第1の実施例とほとんど同じであり、第1の実施例と第2の実施例との相違点は、アレー導波路15上に非晶質シリコンからなる応力付与膜16を形成したアレー導波路回折格子型光回路10を使用すると共に、図7に示すKrFエキシマレーザ40の代わりにArイオンレーザを使用した点にある。

【0045】本第2の実施例では、非結晶質シリコン応力付与膜16の一部分をArイオンレーザにより加熱して多結晶化させることにより、応力付与膜16による応力を部分的に緩和し、各導波路での位相変化量を変化させた。一般に応力付与膜16は、基板面に対して水平方向及び垂直方向の両方向の応力を変化させ、各方向の応力変化量は荷する応力付与膜16の幅で制御できる。そこで本第2の実施例ではアレー導波路15に与える応力が両方向で同じとなるように、応力付与膜16の幅を9.5μmとした。これは、応力緩和による両方向の屈折率変化量を同じにするためである。

【0046】図13の(a)及び(b)の破線はそれぞれ調整前の光回路10の透過光周波数特性と位相変化量の誤差分布を示したものである。位相誤差は±180度に亘って分布しており、サイドロープ抑圧比が10dBしかとれない原因となっている。そこで、Arイオンレーザを応力付与膜16に照射する面積を変えることによって、屈折率制御量を変化させ、位相変化量の誤差が±5度の範囲に入るように調整した。図13の(a)及び(b)の実線は、調整後の透過光周波数特性と位相誤差分布を

示したものである。位相変化量の誤差の低減によって、サイドロープ抑圧比が33dBになるまで改善することができた。

【0047】この結果から明かのように、光回路10の各パスを構成する導波路の屈折率をやみくもに変える従来の方法では、調整に非常に長時間要するか、若しくは長時間を要しても調整することができなかった3個以上のパスを有する光回路10の特性調整を短時間で高精度に行なうことができた。

10 【0048】

【発明の効果】以上説明したように本発明の請求項1記載の光回路の特性調整方法によれば、特性調整対象となる光回路内の複数のパスを伝搬した光が受ける各パスの位相変化量とその設計値との差を計算し、調整すべき各パスの位相制御量を決定し、この位相制御量に基づいて、各パスを構成する光導波路の屈折率を変化させていくので、従来の各パスを構成する導波路の屈折率をやみくもに変える方法では、調整に非常に長時間要するか、若しくは長時間を要しても調整することができなかつた光回路の特性調整を、短時間で高精度に行なうことができる。また、本発明は、既に作成された光回路を対象として実施できるため規格外の光周波数特性を有する光回路を所望の特性に調整することが可能となり、光回路の生産性向上に寄与する。

【0049】また、請求項2記載の光回路の特性調整装置によれば、光回路の各パスを伝搬した光が受ける位相変化量を導出する位相変化量測定手段と前記光回路の各パスを構成する光導波路の屈折率を制御する屈折率制御手段とを備えているので、前記位相変化量測定手段により求めた各パスの位相変化量とその設計値との差を計算し、調整すべき各パスの位相制御量を決定し、この位相制御量に基づいて前記屈折率調整手段を用いて各パスを構成する光導波路の屈折率を変化させることができ、作製後の光回路の特性を短時間の内に高精度に調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における位相変化量測定工程を説明するフローチャート

【図2】従来例の2×2のMZ光回路を示す構成図

【図3】従来例の2×2のMZ光回路の光周波数特性を示す図

【図4】本発明の一実施例における光回路の特性調整工程を説明するフローチャート

【図5】本発明の第1の実施例におけるアレー導波路回折格子型光回路を示す構成図

【図6】第1の実施例における位相変化量を導出する測定装置を示す構成図

【図7】第1の実施例における屈折率制御工程(工程t3)を行う装置を示す構成図

【図8】第1の実施例における光導波路にレーザ光を照

射する部分を説明する斜視図

【図9】第1の実施例における特性調整前のアレー導波路回折格子型光回路の各パスでの位相変化量と透過周波数特性を示す図

【図10】第1の実施例における1工程終了後のアレー導波路回折格子型光回路の各パスでの位相変化量と透過周波数特性を示す図

【図11】第1の実施例における2工程終了後のアレー導波路回折格子型光回路の各パスでの位相変化量と透過周波数特性を示す図

【図12】本発明の第2の実施例における調整対象となるアレー導波路回折格子型光回路を示す構成図

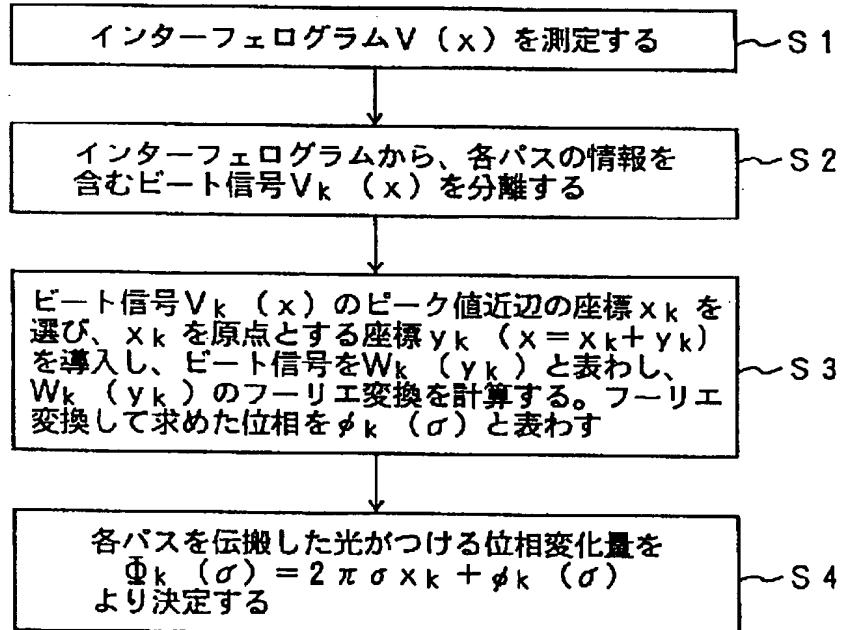
【図13】第2の実施例における特性調整前後のアレー導波路回折格子型光回路の各パスでの位相変化量と透過周波数特性を示す図

【符号の説明】

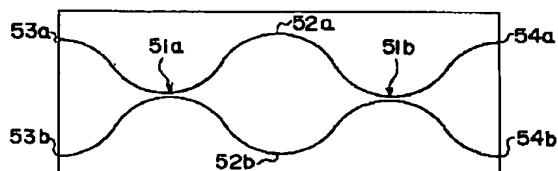
10…アレー導波路回折格子型光回路、11…入力ポート

ト、12…出力ポート、13、14…凹面スラブ導波路型合分波素子、15…アレー導波路、16…応力付与膜、20…波長1.55 μmの発光ダイオード、21…波長1.3 μmの分布帰還型レーザ、22a、22b…光ファイバ3dBカプラ、23a、23b、23c…対物レンズ、24…プリズム、25…リフレクタ、26…ステージ、27…カプラの一方のポート、28…1.3 μm反射1.55 μm透過のダイクロイックミラー、29a、29b…光検出器、30…フリンジカウンタ、31…波形レコーダ、32…コンピュータ、40…Krfエキシマレーザ、41…シャッタ、42a、42b…全反射ミラー、43…凸レンズ、44…円筒レンズ、45…ビームスプリッタ、46…光検出器、47…ビデオカメラ、48…XYステージ、49…ステージコントローラ、51a、51b…3dB方向性結合器型合分波素子、52a、52b…導波路、53a、53b…入力ポート、54a、54b…出力ポート。

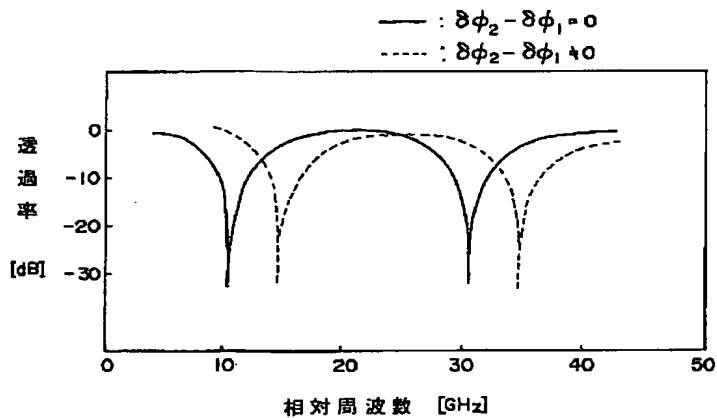
【図1】



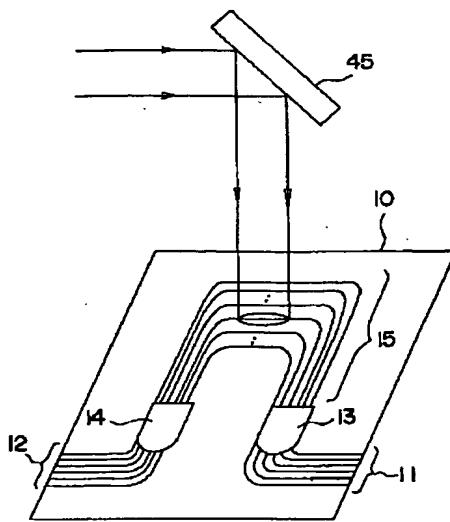
【図2】



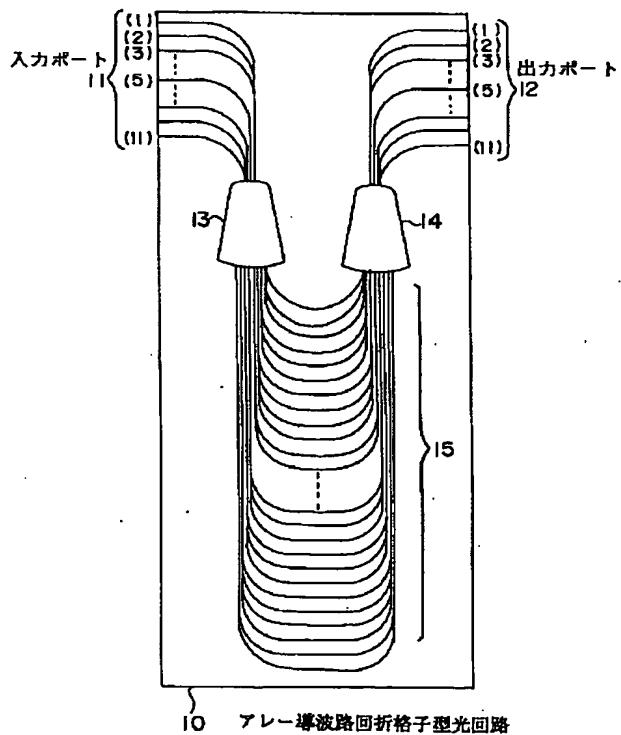
【図3】



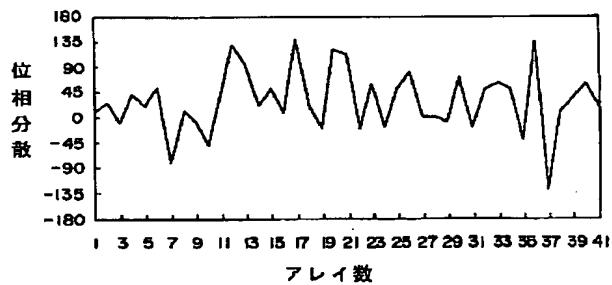
【図8】



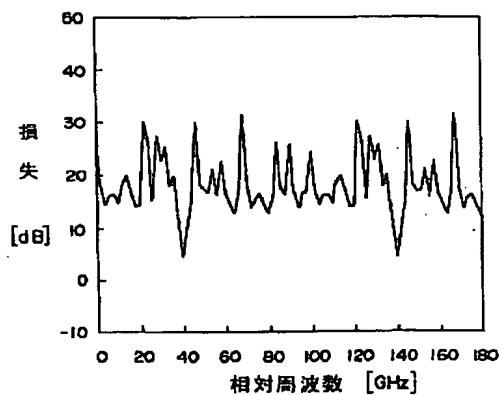
【図5】



【図9】

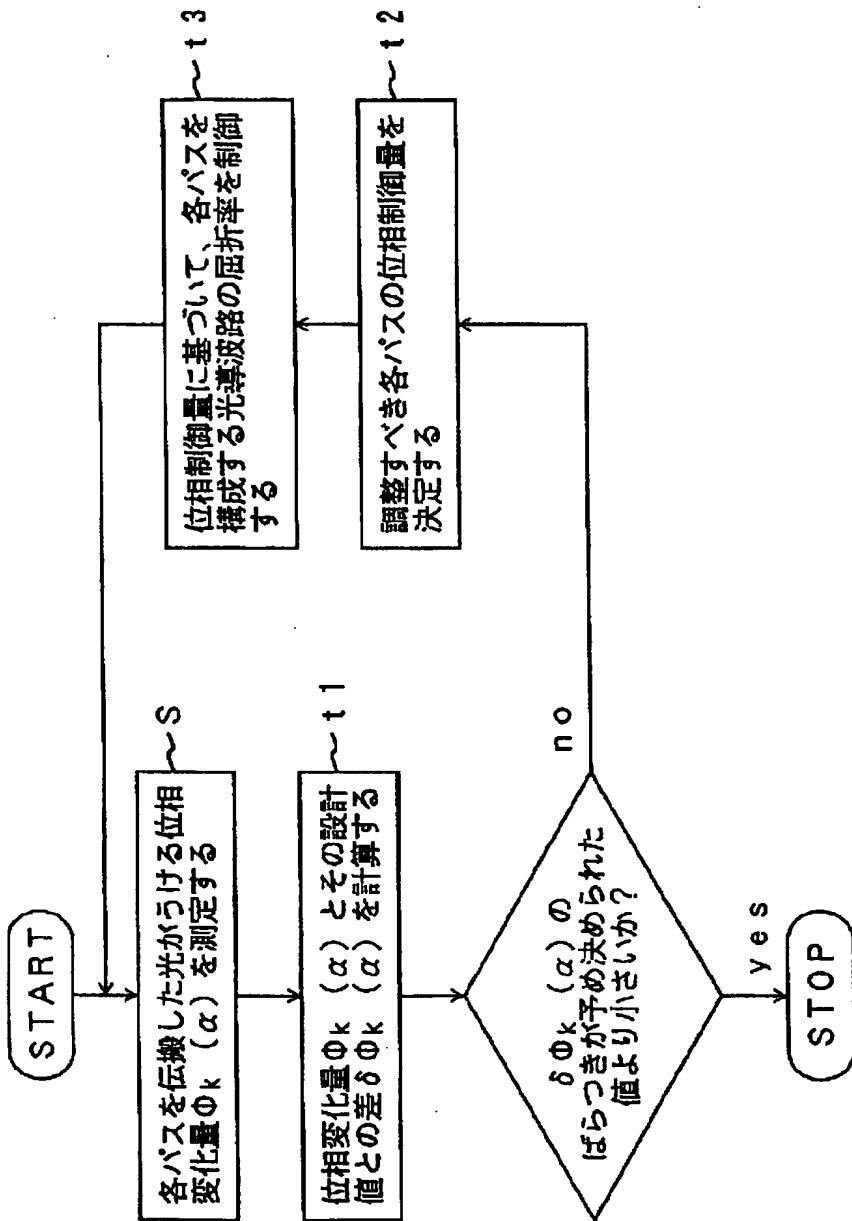


(a)

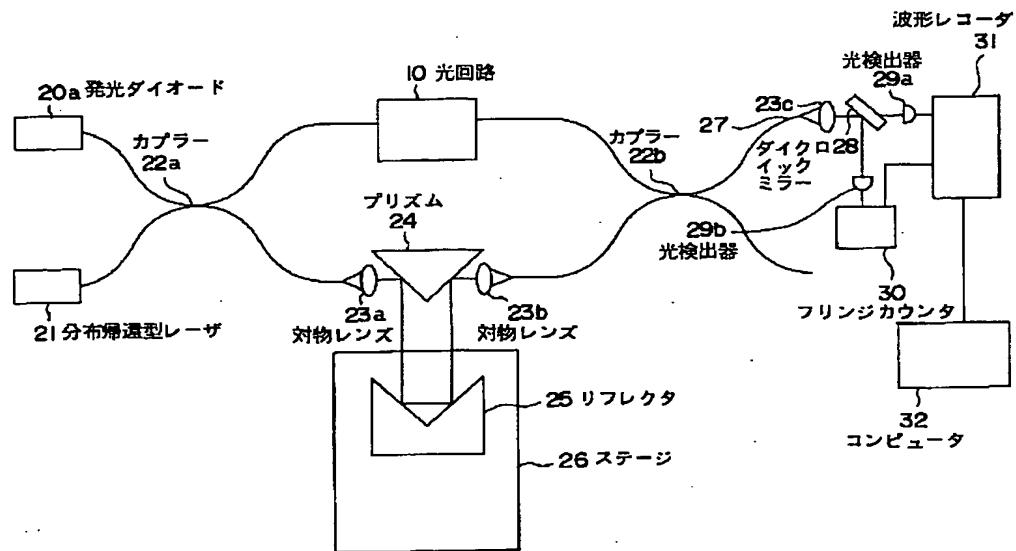


(b)

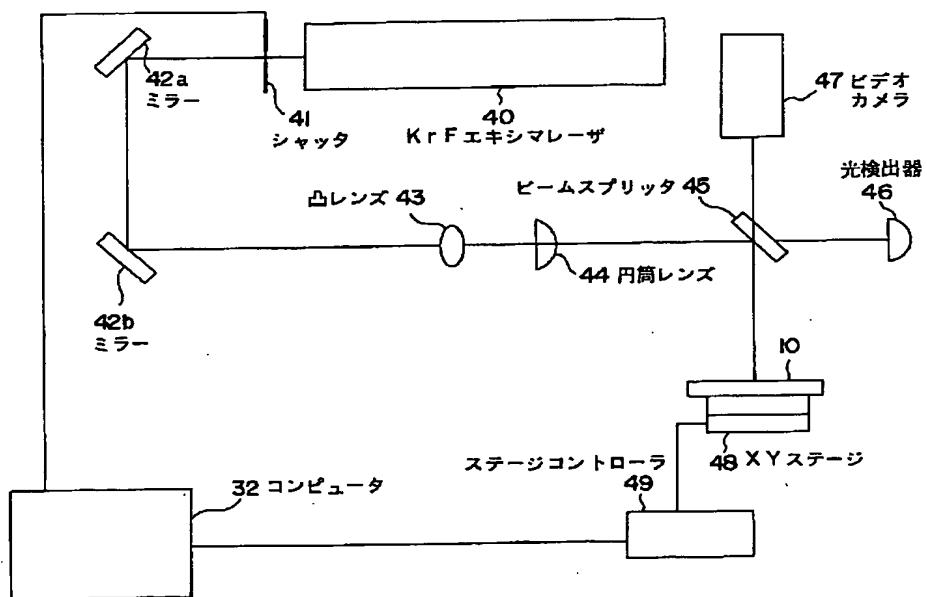
【図4】



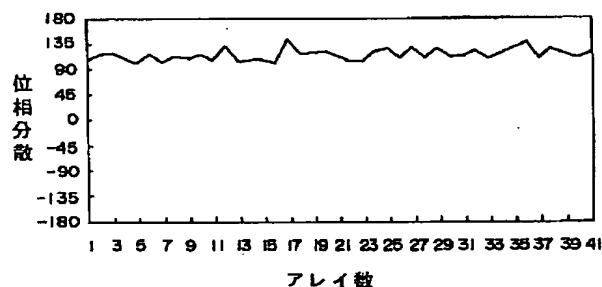
【図6】



【図7】

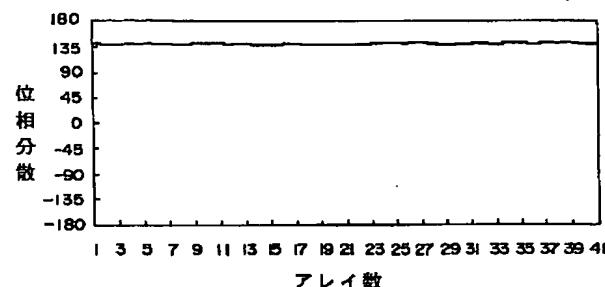


【図10】

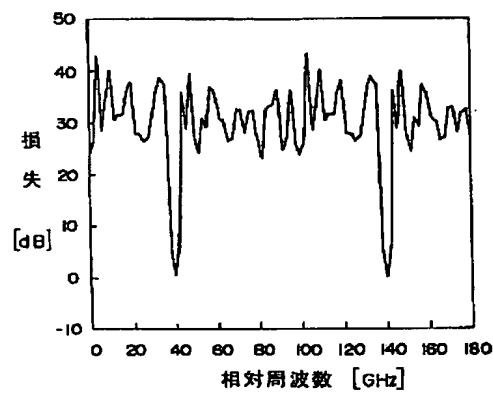


(a)

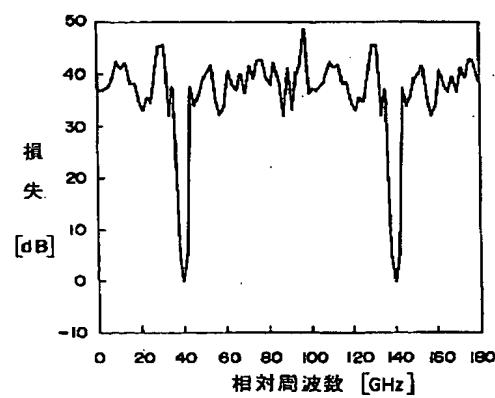
【図11】



(a)

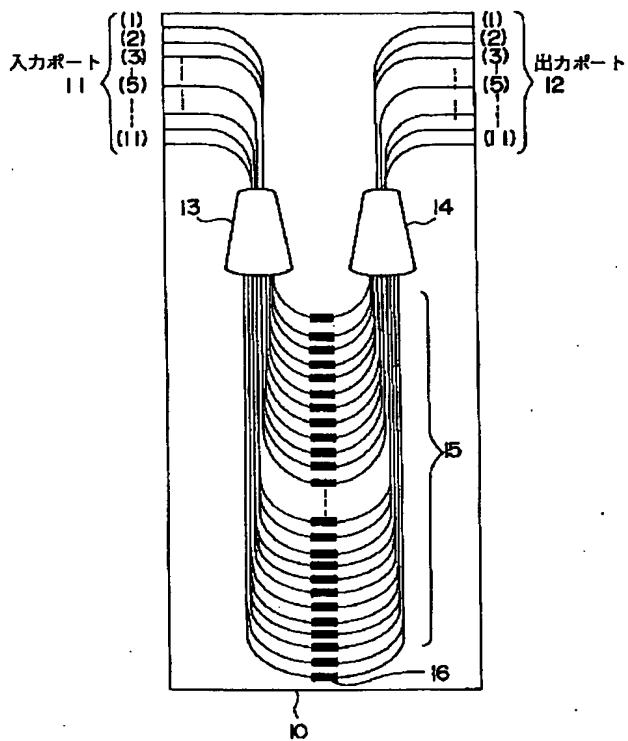


(b)

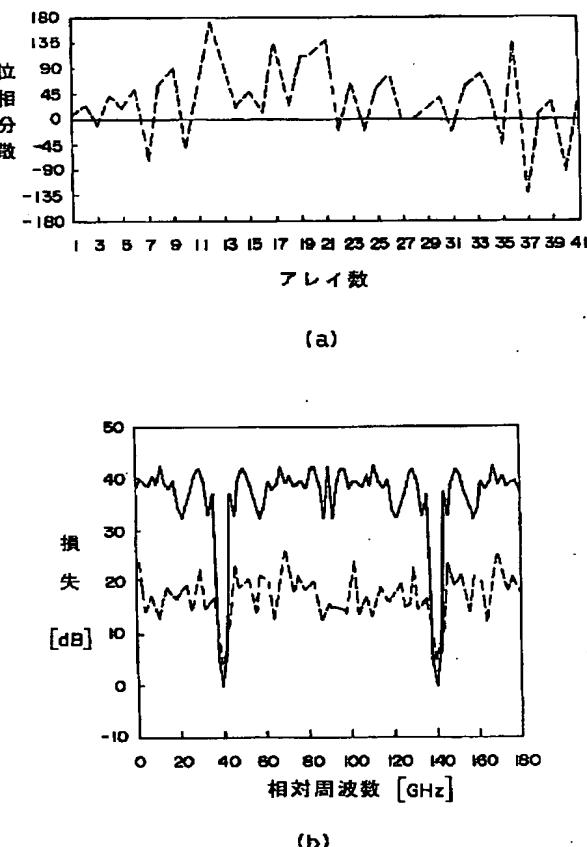


(b)

【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 堀口 正治

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内